

**VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky**

**Návrh a realizace šroubovicové antény pro čidlo technologie
LoraWAN 868 MHz**

Design and Realisation of Helical Antenna for LoraWan Node

2019

Matej Šperka

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Zadání bakalářské práce

Student:

Matej Šperka

Studijní program:

B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2601R013 Telekomunikační technika

Téma:

Návrh a realizace šroubovicové antény pro čidlo technologie LoraWAN
868 MHz

Design and Realisation of Helical Antenna for LoraWAN Node

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Využití pásma 868 MHz v souvislosti s rozvojem nových technologií internetu věcí značně roste. Pro kvalitní přenos signálu je důležité vybavit vysílací stranu (senzor) anténou. Práce si klade za cíl popis, návrh a výrobu šroubovicové antény pracující na kmitočtu 868 MHz vhodnou pro implementaci do senzoru sítě IoT.

Vypracování práce bude splňovat následující body zadání:

1. Popište různé varianty antén, které lze použít na straně koncového bodu sítě (senzoru).
2. Proveďte návrh a simulaci antény v simulačním programu CST Studio.
3. Realizujte praktický model antény na kmitočtu 868 MHz.
4. Proveďte správnost návrhu a konstrukce měřením. Výsledky měření vyhodnoťte.

Seznam doporučené odborné literatury:


[1]BANALIS, Constantine A. *Antenna Theory : Analysis and design*. 3rd edition. United States : [s.n.], 2005. 1117 s. ISBN 0-471-66782-X.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

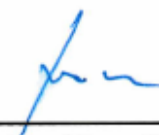
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Marek Dvorský, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019


prof. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.
vedoucí katedry





prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 2. mája 2019


.....
podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Markovi Dvorskému, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.

Prohlášení zástupce spolupracující právnické nebo fyzické osoby

„Souhlasím se zveřejněním této bakalářské práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských programech VŠB-TU Ostrava.“

Dne: *2. května 2019*

.....
podpis zástupce

Abstrakt

Bakalárska práca sa zaoberá popisom antén pracujúcich na kmitočte 868MHz. Po krátkom popise antén použiteľných v tomto pásme sa budeme viac venovať šroubovicovej anténe. Budú uvedené jej geometrické vlastnosti, vyžarovacie módy s popisom výpočtu a návrhu antény. Návrh bude realizovaný v simulačnom programe CST Studio, ktorého výsledky budú zaznamenané v práci. Po samotnej konštrukcii budú v práci uvedené výsledky meraní na skonštruovanej šroubovicovej anténe.

Klíčová slova

Anténa, Axiálny mód, Dipól, Elektromagnetické pole, Impedančné prispôsobenie, Radiálny mód, Smerovosť, Šroubovicová anténa, Vlnová dĺžka, Vstupná impedancia, Vyžarovanie, Vyžarujúca charakteristika, Zisk antény

Abstract

In the bachelor thesis we will deal with the description of antennas working on the frequency 868MHz. After a short description of the antennas available in this band, we will be more concerned with the helical antenna. They will be listed introduce geometric properties, radiating modes, and describe the calculation and design of the antenna. I will practice the design in CST Studio, the results of which will be recorded at work. After the construction itself, the results of the measurements on the constructed helical antenna will be presented.

Key words

Antenna, Antenna Gain, Axial Mode, Dipole, Electromagnetic Field, Helical Antenna, Impedance Adjustment, , Input Impedance Radial Mode, Radiality, Radiation, Radiating Characteristics, Wavelength,

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
α	°	Uhol stúpania závitov
A	-	Efektívna plocha
C	M	Obvod kružnice
D	M	Priemer závitu
D	-	Smerovosť
D_v	M	Priemer vodiča
G	-	Zisk
G_a	-	Absolútny izotropický zisk
G_r	-	Relatívny zisk dipólu
H	M	Výška šroubovice
I	A	Prúd
L	M	Fyzická dĺžka závitů
N	-	Počet závitov
P_{in}	W	Celkový vstupný výkon
PSV	-	Pomer stojatých vln
R_{in}	Ω	Reálna časť Z_{in}
R_{loss}	Ω	Stratový odpor
R_{rad}	Ω	Vyžarovací odpor
S	M	Odstup závitov
U	V	Napätie
U	W/sr	Intenzita vyžarovania
Z_{in}	Ω	Vstupná impedancia
Λ	M	Vlnová dĺžka
η	-	Celková účinnosť antény

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
ČTU	Český telekomunikační úřad
IoT	Intertnet of Things
M2M	Machine to Machine
PCB	Printed circuit board
RF	Radio frequency
LoRa	Long Range Radio

Seznam ilustrací

Číslo ilustrácie	Názov ilustrácie	Číslo stránky
1.1	Dvojportový obvod	16
1.2	Smerová a vyžarovacia charakteristika dipólu	18
1.3	Základné časti vyžarovacej charakteristiky	19
3.1	Anténový čip	22
3.2	Dizajn anténového čipu	23
3.3	Drôtové antény	23
3.4	Prútové antény	24
3.5	Plošná anténa	24
4.1	Šroubovicové antény	25
4.2	Axiálne a radiálne vyžarovanie antény	26
4.3	Geometrické parametre šroubovicovej antény	27
4.4	Prvý model vytvorený v simulačnom programe	31
4.5	Vplyv uhlu stúpania na S11 parametre	32
4.6	Vplyv zmeny počtu závitov na S11 parametre	32
4.7	Rozdiel v ideálnej parametrizácii pre 2 priemery	33
4.8	Model antény so zvýraznenou hodnotou výšky	34
4.9	Vonkajší priemer antény zobrazený na modeli	34
4.10	Výstup simulácie S11 vo frekvenčnom pásme	35
4.11	Zisk šroubovicovej antény	35
4.12	Závitová časť antény	36
4.13	Spájkovaná závitová časť do pinu konektora	37
4.14	Anténa s väčším počtom závitov	37
4.15	Vektorový analyzátor DG8SAQ	38
4.16	Proces merania a optimalizácie	39
4.17	Výstup z merania na vektorovom analyzátore	39
4.18	R&S ZNB vektorový analyzátor	40
4.19	Referenčné meranie zisku	40

4.20	Meranie zisku šroubovicovej antény	41
4.21	Finálna podoba antény	41

Obsah

Úvod.....	- 13 -
1 Anténa	- 14 -
1.1 Vstupná impedancia	- 15 -
1.2 PSV, S-parametre	- 15 -
1.3 Rozptylové parametre	- 16 -
1.4 Smerovosť	- 17 -
1.5 Zisk antény	- 17 -
1.6 Smerová a vyžarovacia charakteristika	- 18 -
2 Technológia LoraWAN.....	- 20 -
3 Antény na strane senzora.....	- 22 -
3.1 Anténový čip	- 22 -
3.2 Drôtové antény	- 23 -
3.3 Prúťové antény.....	- 24 -
3.4 Plošná anténa.....	- 24 -
4 Šroubovicová anténa	- 25 -
4.1 Typy vyžarovania	- 25 -
4.2 Geometrické vlastnosti	- 26 -
4.3 Výpočet geometrických parametrov antény	- 28 -
4.4 Návrh v simulačnom programe	- 31 -
4.5 Výroba šroubovicovej antény.....	- 36 -
4.6 Meranie S11 parametrov šroubovicovej antény	- 37 -
4.7 Meranie zisku šroubovicovej antény	- 40 -
4.8 Vyhodnotenie nameraných výsledkov	- 42 -
Záver	- 43 -
Použitá literatúra	- 45 -

Úvod

Antény sú v dnešnej dobe veľmi rozšírené, nachádzajú svoje uplatnenie pri využití v domácnosti, ako aj v pracovnom prostredí. Od základných antén pre bežnú komunikáciu, rádiový rozhlas, alebo prenos pre televíziu sa postupom času dostávame k pojmu IoT (Internet of Things) a spojovaniu senzorov za pomoci antén, následne k tvorbe aplikácií pre automatizáciu každodennej rutiny. Toto spojenie je možné využiť pre rôzne činnosti a nápady v oblasti IoT. Dôležité je však vybaviť senzor vhodnou anténou.

Prvá kapitola bakalárskej práce je teoretická, opisuje primárne rozdelenie antén a základnú teóriu k anténam. Popisuje základné vlastnosti a parametre, ktoré budú neskôr použité pri konštrukcii šroubovicovej antény a následných meraniach.

Druhá kapitola je venovaná informáciám o technológií LoraWAN. Po spomenutí hlavných špecifik je rozobrané pásmo 868 MHz.

Tretia kapitola je o informáciach k jednotlivým anténam, ktorými je možné senzor IoT vybaviť. Jedná sa o stručný popis antén rozdelených do skupín.

Štvrtá kapitola obsahuje popis šroubovicovej antény. Úvod je zameraný na jej vyžarovaciu charakteristiku. Následuje parametrizácia, nutná pre modelovanie a optimalizovanie výsledkov v simulačnom programe CST Studio. Po optimalizácii a prevedení návrhu je v práci zdokumentovaný postup výroby antény. Na skonštruovanej anténe prebehlo meranie, ktorého výsledky sú porovnané v závere kapitoly.

1 Anténa

Anténa je zariadenie väčšinou kovové, schopné prijímať alebo vysielat' rádiové vlny. Sú základným prvkom pri bezdrôtovej komunikácii a vytvárajú spojenie vysielacza k médiu, ktoré je v tomto prípade voľný priestor. Anténa je elektromagnetický žiarič, ktorý vytvára elektromagnetické pole idúce z vysielacej antény do antény prijímača. Ten následne mení elektromagnetické vlnenie na elektrické signály, ktoré sú ďalej aplikované v počiatočných stupňoch prijímača.

Existuje niekoľko typov antén, na úvod ich môžeme rozdeliť do širokých skupín ako:

- prijímacie
- vysielacie

Podľa smeru šírenia elektromagnetických vln antény delíme na:

- všesmerové antény: šíria signál všetkými smermi (izotropické)
- sektorové antény: šíria signál obmedzeným spôsobom, ktorý definuje konkrétny uhol
- smerové antény: používajú úzky lúč, ktorý umožňuje smerové šírenie

Ideálna anténa je definovaná ako tá, ktorá dokáže vyžiariť celú silu dodanú od vysielacza na výsledný smer alebo smery. V praxi je cieľom sa priblížiť výsledkom ideálnej antény. [1]

Vyžarujúcu charakteristiku udávajú predovšetkým jej geometrické vlastnosti. Vhodné umiestnenie poľa prvkov je kľúčové pre dosiahnutie maximálneho vyžarovania v určitom čiastočnom smere a v určitom smere zase minimálneho vyžarovania. Rôzne antény majú odlišnú formu pre dosiahnutie ideálnej vyžarovacej charakteristiky pre určité aplikácie. [2]

Vybrané pojmy a vlastnosti antén:

- | | |
|-------------------------|----------|
| • Vstupná impedancia | Z_{in} |
| • Výkonová hustota | s |
| • Intenzita vyžarovania | U |
| • Smerovosť | D |
| • Účinnosť | η |
| • Zisk | G |
| • Šírka pásma | B, Q |
| • PSV, | |
| • S-parametre | |

1.1 Vstupná impedancia

Vstupná svorková impedancia antény Z_{in} je daná pomerom napätia a prúdu na vstupných svorkách antény. Jednotkou vstupnej impedancie je Ohm [Ω].

Platí:

$$Z_{in} = \frac{U_{in}}{I_{in}} = R_{in} + jX_{in}$$

R_{in} je vstupný činný odpor a X_{in} je vstupná reaktancia antény

Reálna časť vstupnej impedancie R_{in}

$$R_{in} = R_{loss} + R_{rad}$$

Kde R_{rad} je vyžarovací odpor a R_{loss} je stratový odpor antény

Vyžarovací odpor R_{rad} je odporom, ktorý kladie anténa elektromagnetickej vlne pri jej vyžarovaní.

Stratový odpor R_{loss} je odpor, daný stratami v anténnych prvkoch. Tieto straty zapríčiňuje použitý materiál skonštruovanej antény.

Kompenzáciou vnútornej jalovej hodnoty impedancie zdroja X_g je imaginárna časť X_{in} a platí:

$$X_{in} = -X_g$$

Viac informácií v [3][4]

1.2 PSV, S-parametre

V prípade, kedy nie je zhodná impedancia antény a napájača (prípadne vrátane vysielача), bude prenos energie neefektívny. Celá energia teda nebude prúdiť smerom od vysielача k anténe. Časť energie sa pri výstupe z napájacieho vedenia do antény odrazí a putuje späť k zdroju. Zložením polvln pri kontakte vyžiarenej a odrazenej vlny nastáva jav pomenovaný ako stojaté vlnenie. Mimo tohoto nepriaznivého faktu nastáva aj zahrievanie komponentov z dôvodu odrazu k zdroju.

PSV je pomer stojatých vln, anglicky SWR (standing wave ratio), niekedy aj VSWR (voltage standing wave ratio). To znamená pomer medzi doprednými a odrazenými vlnami. Pre bezstratové vedenie je konštantný a definovaný ako pomer amplitúdy napätia (resp. prúdu) stojatej vlny v kmitne k amplitúde napätia (resp. prúdu) v uzle. Pre vedenie, v našom prípade prostredie, ktoré je stratové počítame PSV v určitom mieste z hodnoty činiteľa odrazu ρ v rovnakom mieste.

Platí vzťah:

$$PSV = \frac{1 + p}{1 - p}$$

V praxi sa snažíme v podstate priblížiť hodnotu PSV 1:1. Vhodné impedančné prispôsobenie je dôležité pre obmedzenie PSV. Prispôsobovanie je zabezpečované pomocou obvodov zložených so sústredených prvkov L,C(rezistory sa nepoužívajú kvôli stratám). [3][4]

1.3 Rozptylové parametre



Obrázok 1.1: Dvojportový obvod [4]

Jedným zo spôsobov určenia kvality prispôsobenia RF napájača k vstupnej impedancii je meranie PSV popísané vyššie. Hodnotu PSV je možné získať z rozptylových S-parametrov. Na obrázku je znázornený dvoj-portový obvod, kde **a** znázorňujú vstupné signály a **b** výstupné signály.

Popis siete pomocou rozptylových parametrov:

$$|S| = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix}$$

Pre výstupy platí:

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}$$

Význam jednotlivých S-parametrov v tomto prípade:

- S_{11} je koeficient odrazu portu 1
- S_{22} je koeficient odrazu portu 2
- S_{12} je koeficient prenosu medzi portom 2 na port 1
- S_{21} je koeficient prenosu medzi portom 1 na port 2

Pre bezstratové dvoj-portové obvody platí:

$$|a_1|^2 + |a_2|^2 = |b_1|^2 + |b_2|^2$$

Tvar poukazuje na fakt, že vstupný výkon je rovný výkonu výstupnému. Rovnakým spôsobom je možné reprezentovať aj 2 antény, kedy porty reprezentujú antény Tx (Transmitter) a Rx (Receiver). V tomto tvare platí že S_{11} a S_{22} vyjadrujú ako je napájacie vedenie prispôbené

(odpovedá hodnote PSV). S_{21} a S_{12} vyjadrujú prenosovú funkciu z jednej antény na druhú. S-parametre vyjadrujeme charakteristickými vlastnosťami antény. Viac na [4].

1.4 Smerovosť

Smerovosť D (directivity) je určená pomerom intenzity vyžarovania U v danom smere k intenzite vyžarovania referenčnej antény U_0 . Vo väčšine prípadov je referenčnou anténou izotropický žiarič. Zriedkavo sa však použije ako referenčná anténa dipól. V prípade použitia inej referencie je nutné údaje o smerovosti prepočítať. V prípade prepočtu smerovosti od všesmerového referenčného žiariča k elementárnemu žiariču odčítame hodnotu 1,76 dB a pri prepočte na polovlnný dipól odčítame hodnotu 2,15 dB.

Smerovosť antény je funkciou priestorových súradníc. Veľmi často za smerovosť považujeme práve smerovosť v smere maxima antény a definujeme ju ako maximálnu smerovosť.

$$D(\vartheta, \phi) = \frac{U(\vartheta, \phi)}{U_0}$$

Obvykle je U_0 rovné celkovému vyžiarenému výkonu podelenému 4π . Píšeme:

$$D(\vartheta, \phi) = \frac{4\pi U(\vartheta, \phi)}{P_{rad}}$$

Pre maximálnu smerovosť platí:

$$D_{max} = \frac{U_{max}}{U_0}$$

Po dosadení celkového vyžiareného výkonu do vzťahu dostávame:

$$D_{max} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}}$$

Viac na [3][4]

1.5 Zisk antény

Zisk antény je daný pomerom vysielaného výkonu k výkonu dodanému na vstup antény. Vzťah pre výpočet sa však často definuje ako 4π krát pomer intenzity vyžarovania v danom smere k výkonu dodávanému na vstup antény. Pri zisku je dôležité si uvedomiť, k akému typu referenčného zdroja tento parameter chceme určiť. Vzťah pre výpočet výkonového zisku antény je definovaný pre obecný smer vzťahom:

$$G = \frac{4\pi}{U} \cdot P_{in}$$

Kde U je intenzita vyžarovania [W/sr] a P_{in} je celkový vstupný výkon [W]

Z odvodenia pomocou účinnosti antény dostávame vzťah:

$$G = \frac{P_{rad}}{P_{in}} \cdot D$$

Zisk antény je relatívny parameter a vzťahuje sa k určitému referenčnému žiaríču. Je často udávaný v decibeloch, aj keď vo všeobecnosti je to bezrozmerná veličina. Preto platí:

$$D_{dB} = 10 \log n \cdot D$$

Udáva koľkokrát väčšie napätie dodá prijímacia anténa na svoje svorky v smere svojho maxima v porovnaní s referenčnou anténou. [4]

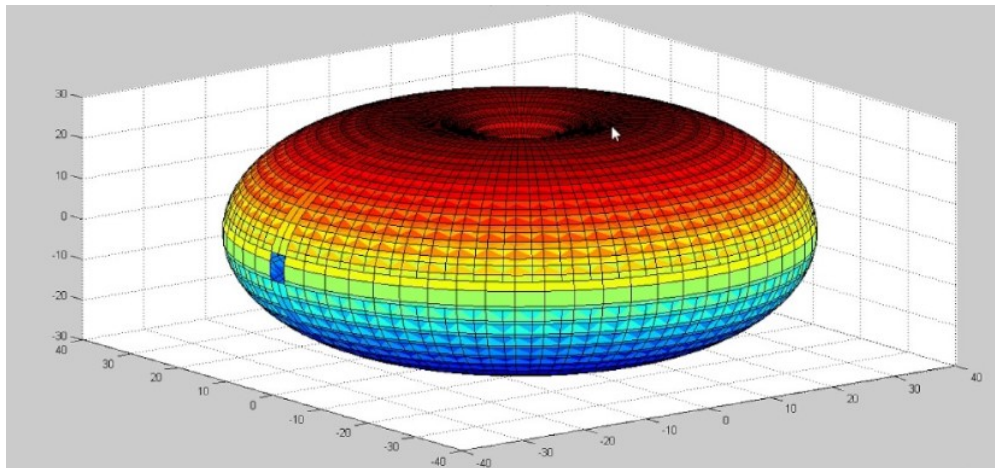
Vzťah medzi ziskom a smerovosťou D :

$$G = \eta D$$

Kde η je celková účinnosť antény. Viac na [3]

1.6 Smerová a vyžarovacia charakteristika

Tieto pojmy úzko súvisia z vyššie uvedenou smerovosťou antény. Smerová charakteristika sa používa pri prijímacích anténach a vyžarovacia zase pri vysielacích. Je to jedna a tá istá charakteristika. Popisuje smerové vlastnosti antény. Je to akýsi popis vyžarujúcich vlastností v závislosti na súradniciach v priestore. Medzi vyžarujúce vlastnosti patrí hustota vyžiareného výkonu, intenzita vyžarovania a smerovosť.

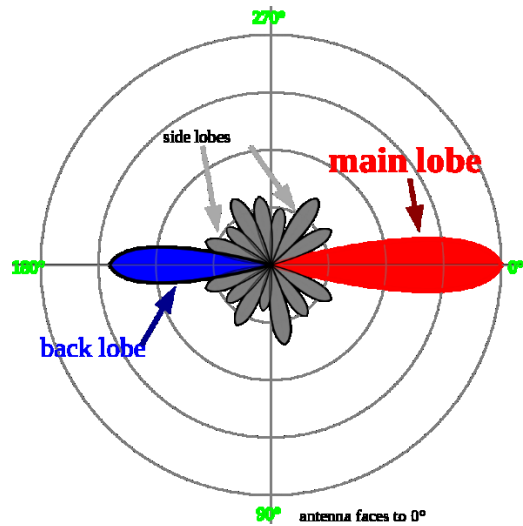


Obrázok 1.2: Smerová a vyžarovacia charakteristika dipólu [5]

Vyžarovacia charakteristika má nasledujúce základné časti:

- **Hlavný lalok (Main Lobe)** - je oblasťou s maximálnym vyžarovaním.
- **Spätný lalok (Back Lobe)** - oblasť v opačnom smere od hlavného laloku.

- **Vedľajší lalok** (Minor Lobe) - laloky vytvorené v okolí medzi hlavným a spätným lalokom.
- **Postranný lalok** (Side Lobe) - najväčší spomedzi vedľajších lalokov.



Obrázok 1.3: Základné časti vyžarovacej charakteristiky [6]

Za zmienku stojí aj tzv. predno-zadný pomer (Front-to-Back Ratio). Je daný rozdielom zisku hlavného a spätného laloku, teda: F/B. Značí schopnosť antény potlačiť nežiadúce signály prichádzajúce z opačného smeru. Viac na [3][4][6]

2 Technológia LoraWAN

Táto kapitola je zameraná na popis technológie LoraWAN. Budú tu spomenuté hlavné špecifiká technológie, využívané kanály a frekvenčné rozsahy.

LoRa (Long Range Radio), bezdrôtová technológia pre komunikáciu pomocou rádiových vln na veľké vzdialenosti, je využívaná v M2M (Machine to machine) a IoT. Táto technológia umožňuje verejným sieťam, alebo sieťam viacerých nájomníkov pripojiť aplikácie bežiacie v tej istej sieti. Hlavným cieľom technológie je rozvoj inteligentných miest pomocou senzorov LoRa a automatizovaných produktov alebo aplikácií. Hlavnou výhodou je veľmi malá spotreba výkonu pri malých nákladoch a s postačujúcim malým dátovým tokom.

Hlavné špecifiká technológie:

- Dosah 2-5 Km v meste a 15Km v prímestských oblastiach.
- Frekvenčné pásma ISM 169 MHz, 430MHz, 433 MHz, 779 MHz, 868 MHz a 915MHz
- Využitie štandardu IEEE 802.15.4g.
- Využitie modulácie s rozprestretým spektrom, ktorý využíva širokopásmové FM impulzy.
- Jedna LoRa brána sa stará o tisíce uzlov.
- Vhodná pre dlhú životnosť batérie.
- Stará sa o frekvenciu, výkon, moduláciu, signalizáciu medzi uzlami a bránou.
- Výkon niekoľko jednotiek až desiatok mW.
- Dátový tok býva medzi 292b - 50 Kb za sekundu.

LoRaWAN využíva rôzne frekvenčné pásma v rôznych regiónoch sveta. V Európe pracuje na kmitočtovom rozsahu 863 - 870 MHz. Jedná sa o 8 kanálov s nasledujúcimi frekvenciami:

5 kanálov využívajú koncové zariadenia:

- 868,10 MHz
- 868,30 MHz
- 868,50 MHz
- 864,10 MHz
- 864,30 MHz

3 kanály využíva brána na počúvanie:

- 868,10 MHz
- 868,30 MHz
- 868,50 MHz

Frekvencie prenosu sa u koncových zariadení a brány môžu zhodovať. Pracujú však v iných časových úsekoch. Viac na [8].

Kmitočtové pásmo 868 MHz

ČTU (český telekomunikační úřad) označuje toto pásmo skratkou *g* a definuje pre neho nasledujúce povolenia a povinnosti [7] :

- Povolenie maximálneho vyžiarého výkonu 25 mW.
- Zariadenie na tejto frekvencii sú schopné komunikovať na vzdialenosť približne 500m.
- Stanice v tomto pásme nie je možné použiť pre vysielanie analógových audio signálov s výnimkou prenosu hlasu.
- Je možná prevádzka zariadení:
 - S moduláciou FHSS s kanálovou roztečou menšou ako 100 kHz
 - S moduláciou DHSS alebo inou širokopásmovou moduláciou okrem FHSS bez obmedzenia rozteče
 - Úzkopásmové zariadenia s kanálovou roztečou ako 100 Hz

Pri zariadeniach definovaných prvými dvoma typmi modulácie sa uprednostňuje kanálová rozteč 100 kHz a umožňuje delenie na 50 kHz alebo 25 kHz.

- Nutnosť použitia techník prístupu k spektru a na zmiernenie rušenia.
- Nie je povolený prenos obrazových informácií.

3 Antény na strane senzora

Táto kapitola obsahuje popis a rozdelenie antén používaných v IoT. a príklady konkrétnych typov s ich špecifikáciou.

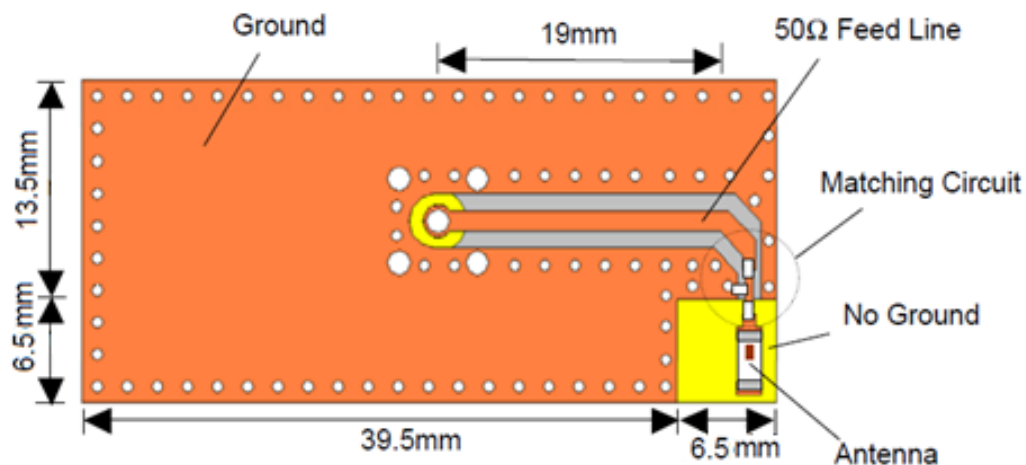
3.1 Anténový čip

Tento typ antény sa ukazuje ako najvhodnejšia voľba pre malé konštrukčné tvary a pre využitie na nižších frekvenciách.

V mnoho prípadoch potrebujú iba niekoľko milimetrov priestoru a malú zemniacu časť. Majú nízku účinnosť a nízku šírku pásma v porovnaní s ostatnými IoT anténami. Pri tomto type je treba brať do úvahy, že čip tvorí len polovicu antény. Druhú polovicu tvorí zemniaca plocha PCB (Printed circuit board). Jej vzor vyžarovania a ladenie priamo súvisia s veľkosťou a tvarom tejto plochy. Množstvo technických dokumentácií uvádza zisk, straty, smerovú charakteristiku a iné parametre vzťahujúce sa k presne definovanej veľkosti zemiacej plochy. Obvykle je náčrt priamo určený pri výbere antény. Tento fakt je dôležitý z dôvodu integrácií antény do vlastného projektu, ktorý sa takmer s určitosťou bude odlišovať v tvare a veľkosti PCB. Kľúčom k používaniu čipovej antény v RF (radio frequency) dizajne je byť si vedomý toho, ako sa implementácia bude líšiť od technickej dokumentácie a túto skutočnosť využiť pre maximalizáciu výkonu jej vhodným umiestnením. [9]



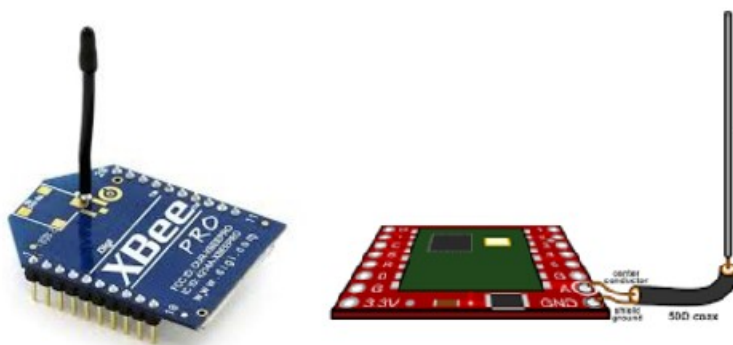
Obrázok 3.1: *Anténový čip* [10]



Obrázok 3.2: Dizajn anténového čipu [9]

3.2 Drôtové antény

Drôtové antény vyžadujú elektromagnetickú simuláciu pre najlepšie optimalizovaný dizajn. U tohto typu platí, že so znižujúcou sa frekvenciou sa zväčšuje veľkosť antény. Tu môžeme použiť antény ako dipól, alebo šroubovicovú anténu. [11]



Obrázok 3.3: Drôtové antény [11]

3.3 Prútové antény

Je nákladnejšou možnosťou pri výbere antény. Má však najvyššiu účinnosť a je aj ideálnou pri problémoch IoT modulu spôsobených viacerými vysielačmi. Pri konštrukcii je potrebný konektor na doske modulu a koaxiálny kábel z PCB do anténneho modulu. Tento typ vyžaduje vykonanie testu emisií. [11]



Obrázek 3.4: *Prútové antény* [12][13]

3.4 Plošná anténa

Jej výhodou je nižšia náročnosť na náklady a flexibilita pri konštrukcii. Antény s plošnými spojmi zastupujú nižšie ale aj vyššie frekvenčné rozsahy. [11]



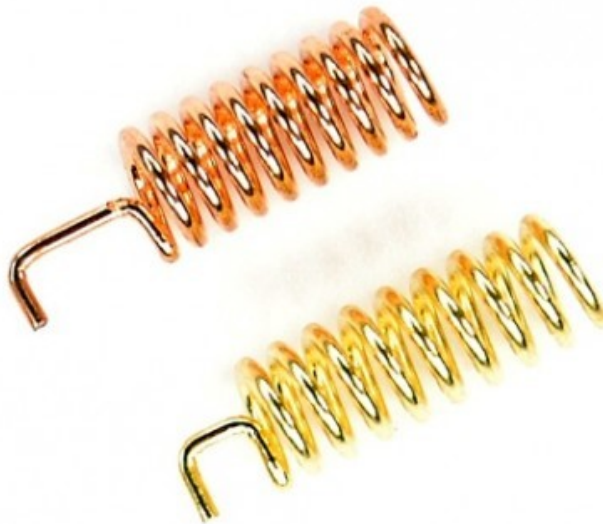
Obrázok 3.5: *Plošná anténa* [14]

4 Šroubovicová anténa

Šroubovicová anténa je sériovým usporiadaním slučkových a lineárnych antén, ktoré tvoria závitovú radu s určitým počtom členov a stúpaním závitov. Dôležité je, ktoré z týchto častí majú rozhodujúcu funkciu.

Podstatné teda sú:

- Priemer závitů
- Stúpanie závitů



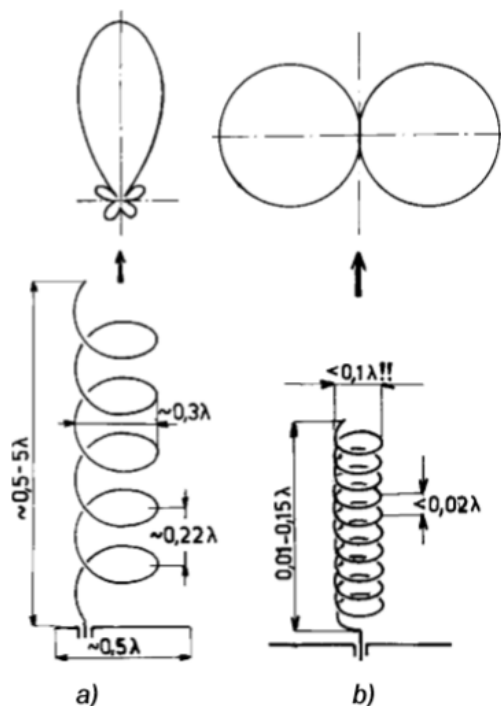
Obrázok 4.1: Šroubovicové antény [15]

4.1 Typy vyžarovania

Vodič, ktorý je takto stočený do šroubovice vyžaruje rôznymi spôsobmi. Hlavnými sú:

- Axiálne (vyžarovanie v smere osy šroubovicovej antény)
- Radiálne (v smere polomeru), kolmé na os šroubovicovej antény.

Radiálny mód definujeme ako normálový (kolmý)



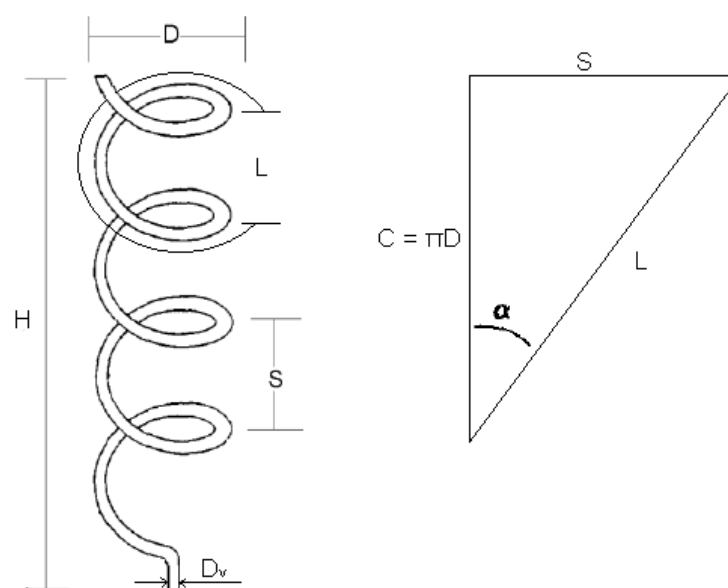
Obrázok 4.2: Axiálne(osové) vyžarovanie antény a, Radiálne(kolmé) vyžarovanie antény. Spôsob vyžarovania (mód) určujú hlavné rozmery, predovšetkým priemer vinutia D , resp. dĺžka závitov L vzhľadom k vlnovej dĺžke λ [17]

Vyžarovanie šroubovice je podobné vyžarovaniu antén lineárnych, tj. jednoduchých priamych vodičov. Malé šroubovice pri správnom usporiadaní dokážu v tvare diagramu žiarenia a polarizácie vyžarovať rovnako ako lineárne dipóly ($\lambda/2$), alebo unipóly ($\lambda/4$), to však s menšou geometrickou dĺžkou pri využití v mobilných technológiách.

4.2 Geometrické vlastnosti

Na obrázku nižšie pod číslom 1.11 je vidieť základné parametre ako je:

- Obvod kružnice nad závitom (C)
- Uhol stúpania závitov (α)
- Počet závitov (N)
- Odstup závitov (S)
- Priemer jedného závitov (D)
- Výška šroubovice (H)
- Fyzická dĺžka závitov (L)
- Priemer vodiča (D_v)



Obrázok 4.3: Geometrické parametre šroubovicovej antény [16]

Pred výpočtom parametrov uvedieme veľkosť vlnovej dĺžky, vypočítanej zo vzťahu:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

c je rýchlosť šírenia svetla vo vákuu a f je frekvencia. Z dôvodu, že rozsah pásma 868 MHz je od 863 po 870 MHz, je pre výpočet použitý aritmetický priemer týchto hodnôt, čo predstavuje 866,5 MHz.

Ďalšie hodnoty a predovšetkým veľkosť C je prirovnaná k vypočítanej vlnovej dĺžke. V nasledujúcej časti popisujeme vzťahy medzi jednotlivými parametrami:

- C , obvod kružnice, v návrhu parameter K udáva zmenšenie priemeru oproti vlnovej dĺžke

$$K \cdot \lambda = \pi \cdot d$$

- α , uhol stúpania závitů

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{S}{C} \right)$$

- N , počet závitů

Ostatné parametre, ktoré určujú geometrický popis antény, sa vypočítavajú na základe týchto základných parametrov.

Vedľajšie parametre:

- S , odstup závitů

$$S = \tan(\alpha) \cdot C$$

- D, priemer kružnice,

$$D = \frac{C}{\pi}$$

- R, polomer kružnice

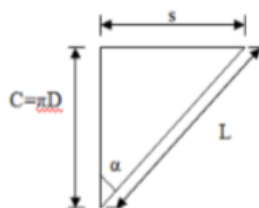
$$R = \frac{D}{2}$$

- H, výška šroubovice (závitová časť)

$$H = S * N$$

- L, fyzická dĺžka závit

$$L = \sqrt{S^2 + C^2}$$



- LN, fyzická dĺžka antény(závitová časť)

Dôležité je vysvetliť, ako je šroubovica v simulačnom programe zostrojená. Výsledkom parametrického popisu je krivka, okolo ktorej je následne vytvorený kruh s priemerom materiálu. Výpočty sa viažu práve k tejto krivke. Viac o vzťahoch medzi parametrami je možné nájsť na [21]

$$D_{\text{šroubovica}} = D_{\text{stred}} + D_{\text{material}}$$

4.3 Výpočet geometrických parametrov antény

Táto časť práce sa zameriava na návrh šroubovicovej antény, pracujúcej na frekvenčnom pásme 868MHz. Toto pásmo má frekvenčný rozsah 863-870 MHz. Cieľom je návrh antény ktorá bude mať v celom tomto rozsahu rozptylové parametre $S_{11} < -12$ dB a zisk blízky hodnote 2dBi. Anténa je upevnená na SMA konektor. Konektor má vonkajší priemer časti bližšej k anténe hodnotu $d = 6,26$ mm. Na tejto časti je rovnako aj upevnený kryt antény z PVC materiálu. Tento fakt obmedzuje hodnotu priemeru antény na veľkosti menšie ako 6 mm. Výsledný model bude použiteľný a funkčný pre účely technológie LoraWAN senzoru. Spojenie antény so senzorom udáva ďalší cieľ, ktorým je minimalizácia veľkosti antény. Výpočty prevedené v tejto časti sú približené návrhu optimalizovaného modelu so zaokrúhlenými hodnotami

Výpočet vlnovej dĺžky :

$$\lambda = \frac{300 \cdot 10^6}{866.5 \cdot 10^6}$$

$$\lambda = 346,22 \text{ mm}$$

- **Predpoklad pre koeficient zmenšenia K oproti λ :**

Pri simulovaní antény je vhodné použiť priemer kružnice blízky práve veľkosti časti konektora a väčší. U menších priemerov, je možné dosiahnuť podobné parametre za predpokladu použitia väčšieho počtu závitov. Tie však neboli postačujúce. Zvolenou hodnotou celkového priemeru antény je 6 mm, preto aby ostal určitý priestor medzi krytom a anténou. Zo vzťahu :

$$D_{\text{šroubovica}} = D_{\text{stred}} + D_{\text{material}}$$

$$D_{\text{stred}} = 6 - 0,5 = 5,5 \text{ mm}$$

$$R_{\text{stred}} = 2,75 \text{ mm}$$

Následným dosadením do vzorca:

$$C = K \cdot \lambda = \pi \cdot d$$

$$C = \pi \cdot 5,5$$

$$C = 17,266 = K \cdot \lambda$$

$$K = \frac{17,266}{346,22}$$

$$K = 0,04987$$

$$C = 0,04987 \cdot \lambda$$

- **Predpoklad pre uhol stúpania závitov**

Tento uhol je úmerný použitiu určitej veľkosti kružnice vypočítanej z priemeru. Preukázalo sa, že pre využitie radiálneho módu antény je potrebný čo najmenší uhol stúpania, ktorý dovoľuje. Treba vziať do úvahy aj priemer vodiča. Anténa je konštruovaná nad krivkou, preto musí byť odstup väčší ako vzdialenosť ktorú tvoria dva polomery vodiča umiestnené vedľa seba, tak aby sa neprekrývali. Zároveň je nutné zvoliť uhol pri ktorom odstup závitov je taký, aby bolo možné anténu skonštruovať. U použitia vonkajšieho priemeru 6 mm je vhodný uhol stúpania 1.75° - 2.1°. Požadovaný uhol sa mení pri zmene priemeru šroubovice.

$$S > r_{\text{vodiča}} \cdot 2$$

U použitia $K = 0,04987$ a $r_{\text{vodiča}} = 0.5 \text{ mm}$ je vhodný uhol stúpania $\alpha = 1,76^\circ$, čo je najmenší ešte konštrukčne prijateľný uhol. Z tohoto uhlu dopočítame odstup zo vzťahu:

$$S = \tan(\alpha) \cdot C$$

$$S = \tan(1,76194) \cdot 17,266$$

$$S = 0,531 \text{ mm}$$

Z vypočítanej hodnoty S vyplýva, že odstup medzi dvoma závitmi s ohľadom na hrúbky materiálov je minimálny.

- **Simulovanie počtu závitov:**

Po zvolení hlavných parametrov K a α bol prevedený výpočet podľa dĺžky $\lambda/2$ pre celkovú fyzickú dĺžku antény následným zkomponovaním výpočtu zkracovacím činiteľom. U nižšieho počtu závitov dostaneme anténu do stavu rezonancie s malou geometrickou veľkosťou. Anténa však rezonuje aj na iných kmotočoch a na základe faktu, že počet závitov posúva miesto rezonancie vzhľadom na frekvenciu, boli prevedené experimenty s väčším počtom závitov. To malo za následok ešte väčší pokles S_{11} parametrov. Pri zvolenom K a α sa dostávame k hodnote $N = 13,05$. Je možné dostať sa k ešte lepším výsledkom. Jedným z cieľov však bolo navrhnuť anténu s čo najmenšími rozmermi. Aby sme našli ďalšie miesto rezonancie s vyšším počtom závitov a konštantným K a α , výška antény by sa na základe pridania ďalších závitov nevhodne zvýšila.

- **Výpočet vedľajších konštrukčných parametrov:**

L - Fyzická dĺžka vodiča pre jeden závit:

$$L = \sqrt{S^2 + C^2}$$
$$L = \sqrt{0,531^2 + 17,266^2}$$
$$L = 17,274 \text{ mm}$$

H - výška šroubovice(závitová časť):

$$H = S \cdot N$$
$$H = 0,531 \cdot 13,05$$
$$H = 6,93 \text{ mm}$$

LN celková dĺžka vodiča(závitová časť):

$$LN = L \cdot N$$

$$LN = 17,266 \cdot 13,05$$

$$LN = 225,3$$

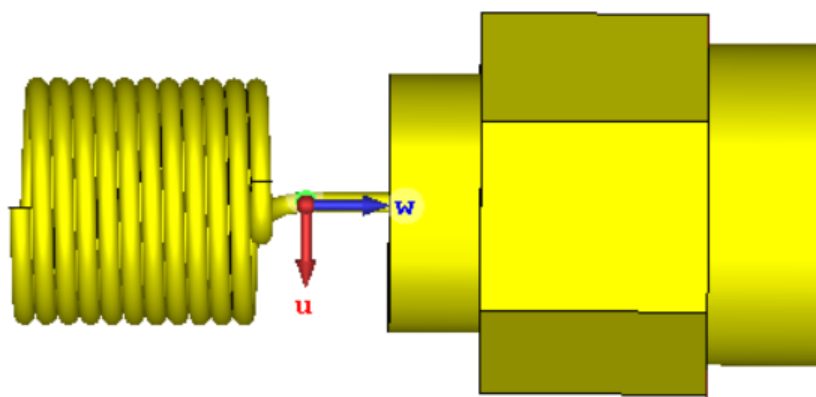
$$LN = 0,65 \cdot \lambda$$

Ostatné komponenty:

- Použitý kryt je z materiálu PVC ktorého permitivita je 3-5 a je umiestnený v tesnej vzdialenosti od antény.
- SMA konektor, ktorého materiál je meď v kombinácii s teflónom vo vnútri.

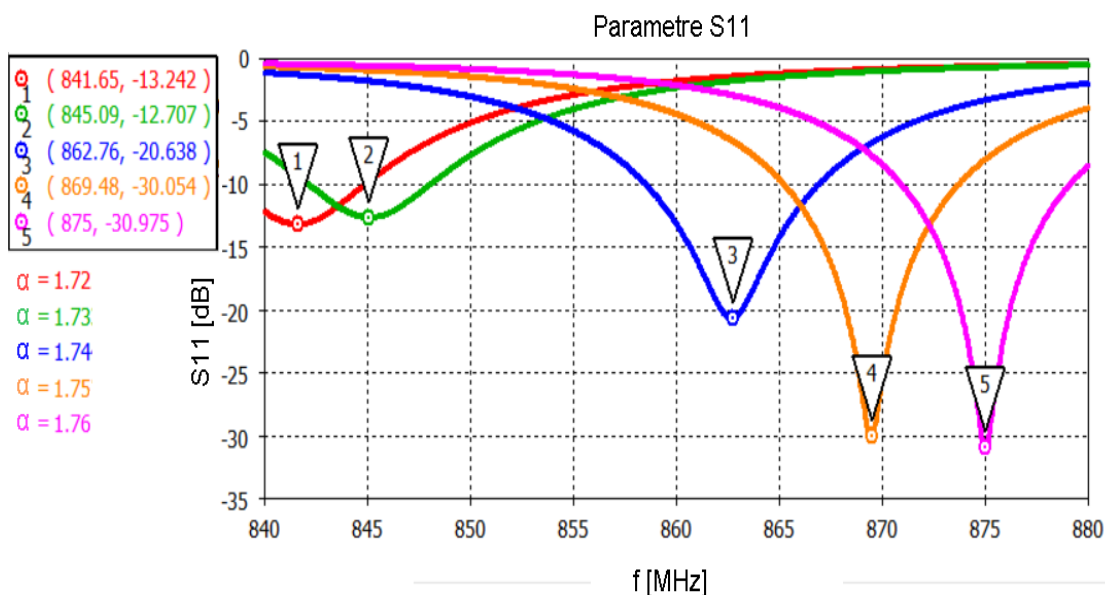
4.4 Návrh v simulačnom programe

Návrh antény bol uskutočnený v simulačnom program CST Studio. Prvotný krok bol založený na aplikovaní parametrizácie. Ďalším krokom bola implementácia vypočítaných parametrov pre anténu s dĺžkou vodiča rovnou $0,65\lambda$. Zväčšením frekvenčného rozsahu simulačného programu dostávame informácie o postranných rezonanciách antény. Nesledovala optimalizácia antény pomocou kombinácií krokovania geometrických parametrov. Vplyvy parametrov sú popísané v úvode podkapitoly. V závere podkapitoly je uvedený finálny model antény ktorá bude ďalej konštruovaná.



Obrázek 4.4: Prvý model vytvorený v simulačnom programe

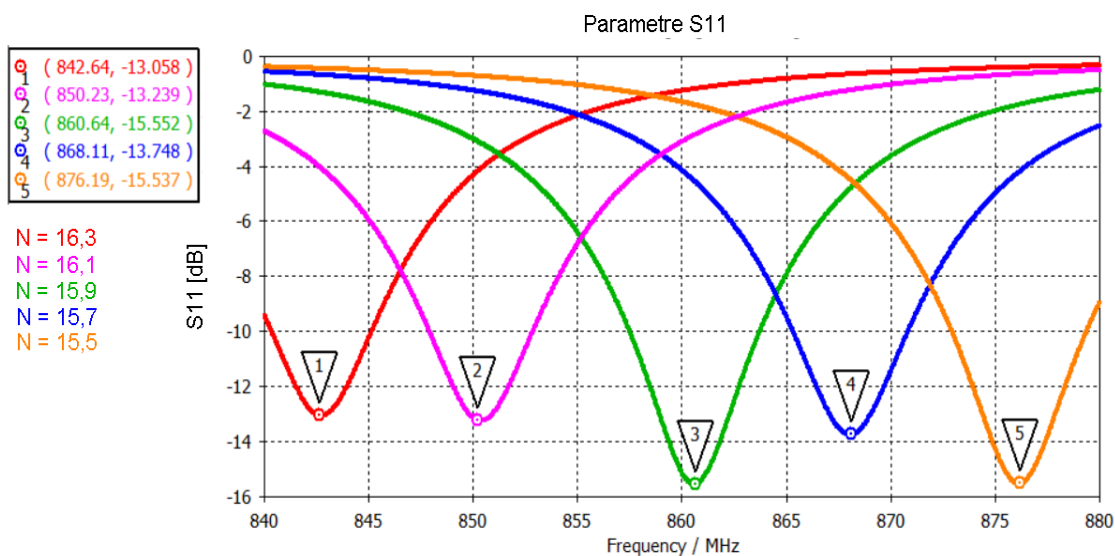
Uhol stúpania závitov a s ním spojený odstup je spôsob doladovania antény, ktorý je u týchto rozmerov prakticky ťažko realizovateľný. Nasledujúci graf ukazuje vplyv uhlu stúpania závitov na S11 parametre za predpokladu konštantnej hodnoty K a počtu závitov.



Obrázok 4.5: Vplyv uhlu stúpania na S11 parametre

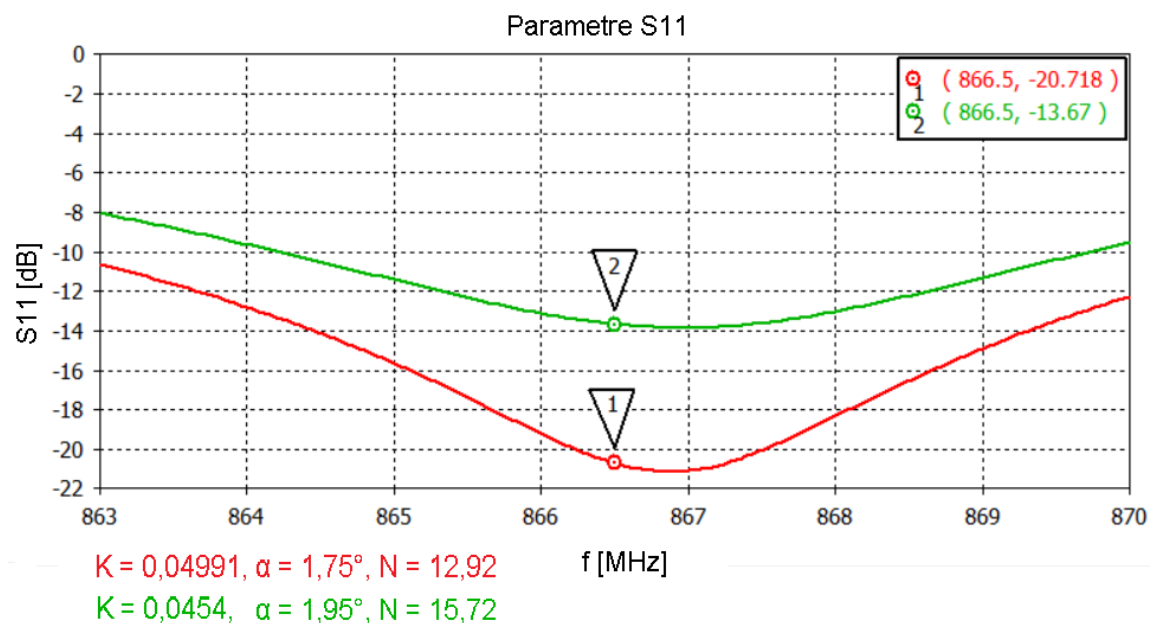
Pri zvýšení hodnoty K je možné na zadanej šírke pásma dostať väčší pokles S11. Obecnne platí že pre hodnotu K sa snažíme nájsť vhodný uhol stúpania závitov a počet závitov

Počet závitov udáva miesto vzhľadom na frekvenciu, v ktorej anténa rezonuje. Udáva posun funkcie S11 v závislosti na frekvencii.

Obrázok 4.6: Vplyv zmeny počtu závitov na S11 parametre pri konštantných hodnotách parametrov $\alpha=1,9^\circ$ a $K=0,0454$

Z týchto grafov je zrejмый postup optimalizácie antény. Vhodným postupom je začať s prieskumom hodnoty K spoločne s ovplyvňovaním uhlu stúpania. Pozitívnym vplyvom je práve počet závitov, ktorým anténu následne vyladíme do stavu rezonancie na požadovanom

kmity. Nasledujúci graf ukazuje rozdiel vo výsledkoch pri použití 2 rôznych veľkostí hodnoty K . V tomto prípade však bez konštantného uhlu a počtu závitov.

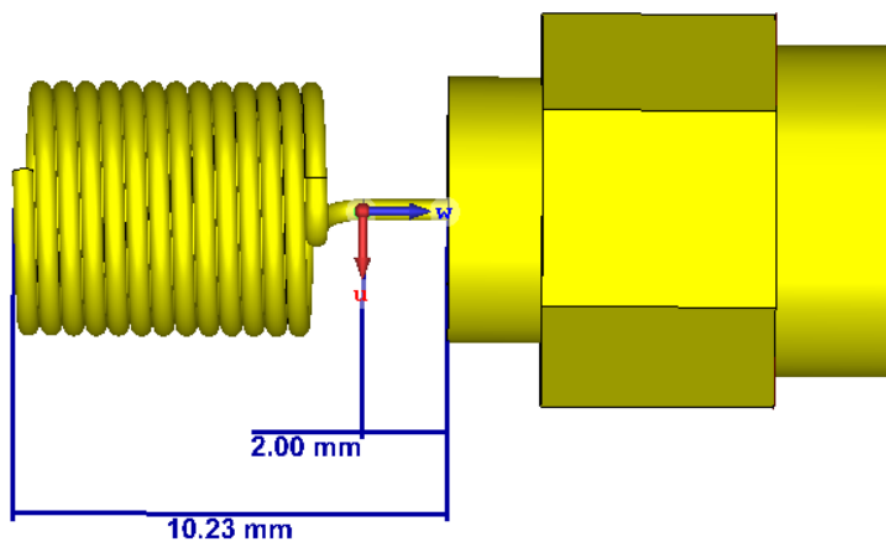


Obrázok 4.7: Rozdiel vhodnej parametrizácií pre dva rôzne priemery antény

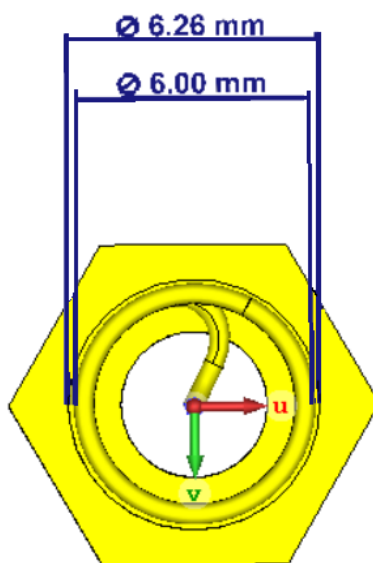
V grafe je okrem zmien v parametroch vidieť aj rozdiel v poklese S11 parametrov pre 2 rozdielne parametrizácie antény v stave rezonancie.

Ďalším parametrom ktorý má vplyv na rezonanciu je aj odstup šroubovice od konektora. Aby konektor nemal veľký vplyv na vyžarovanie antény, umiestníme ju v určitej vzdialenosti. Pri predlžovaní tejto vzdialenosti je nutné odobrať určitý počet závitov, aby sa fyzická dĺžka antény veľmi nezmenila.

Výstupom aplikovania parametrov v simulačnom programe je nasledujúci model so zvýraznenými veľkosťami šroubovice. Ostatné veľkosti sú priložené v prílohe č.1:



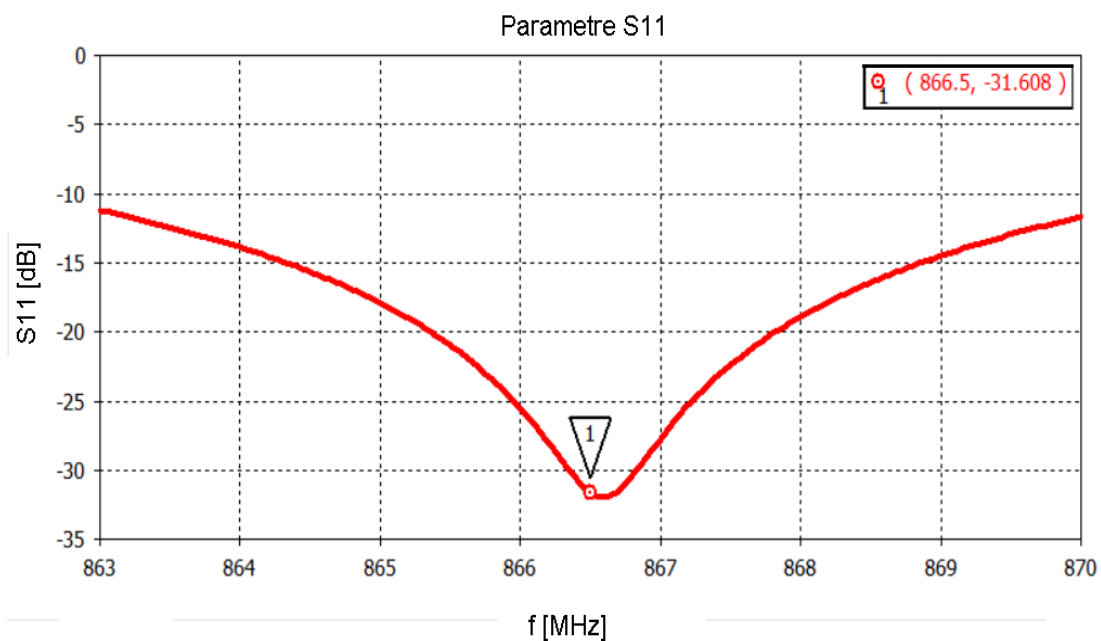
Obrázok 4.8: Model antény so zvýraznenou hodnotou výšky



Obrázok 4.9: Vonkajší priemer antény zobrazený na modeli

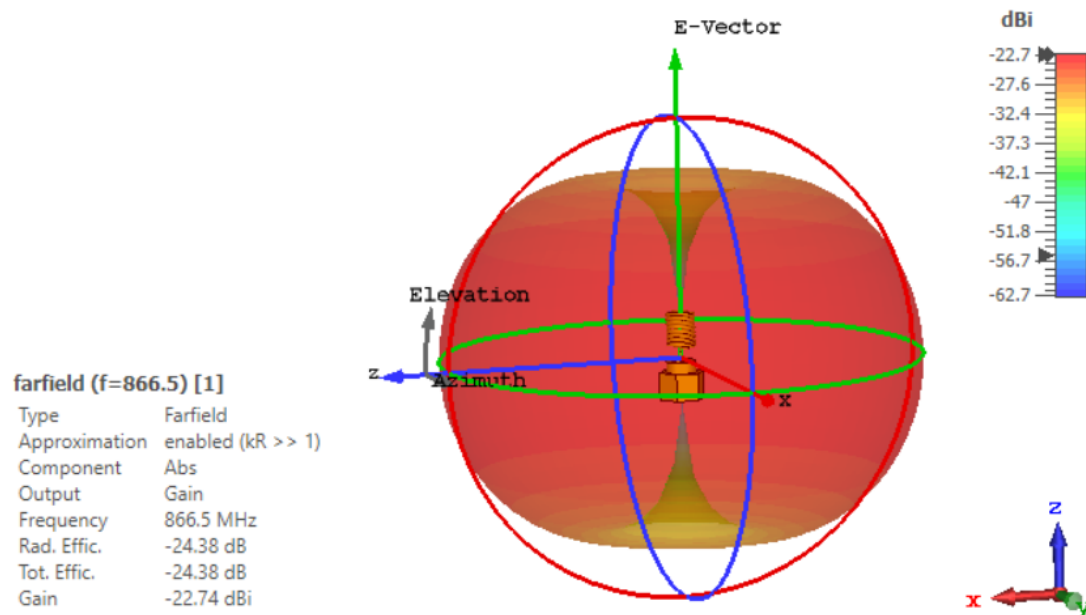
Výsledky simulácie finálneho návrhu antény sú na obrázkoch nižšie.

Parametre S11:



Obrázok 4.10: Výstup simulácie S11 vo frekvenčnom pásme 868MHz

Smerová charakteristika:



Obrázok 4.11: Zisk šroubovicovej antény

Výsledky simulácie sa vo väčšine prípadov nestotožňujú dokonale s nameranými hodnotami. Dávajú nám však dôležité informácie o vplyvoch geometrických parametrov na vyžarovanie antény. V tomto prípade poukazujú na fakt, že pre dosiahnutie vhodných S11 parametrov je vhodné použiť čo najmenší odstup závitov, najväčší možný priemer kružnice nad závitom a primeraný počet závitov, ktorým doladíme anténu, z pohľadu frekvencie na miesto, kde je v rezonancii. Okrem toho pri simulovaní nastáva problém kolízie plôch závitov pri zmenšení parametru S na veľmi nízke hodnoty. V realite je však možné závitov usporiadať v tesnej blízkosti a s predpokladom lepších parametrov, na ktoré poukazuje simulovanie odstupov závitov. Tento predpoklad bol použitý pri následnej konštrukcii.

4.5 Výroba šroubovicovej antény

Na výrobu antény potrebujeme nasledujúce komponenty:

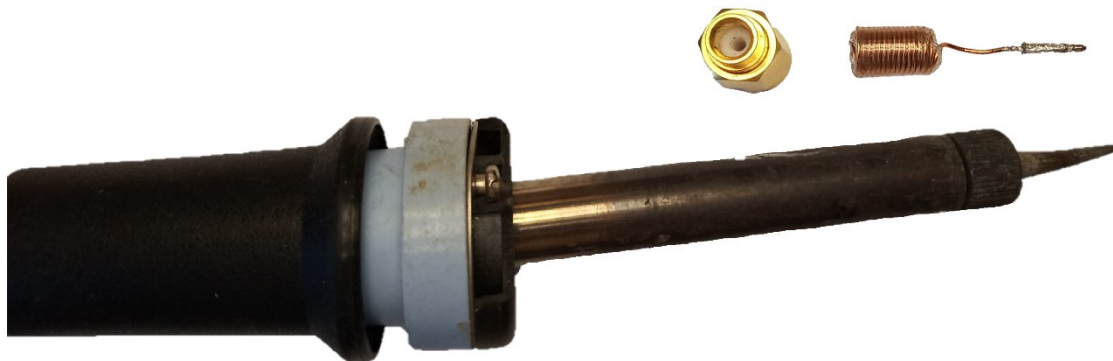
- Lakovaný medený vodič s priemerom $D_v = 0,5 \text{ mm}$
- SMA konektor (SMA Rosenberg, 32S102-272L5)[22]
- Pájkovačka s príslušenstvom
- Mini kliešte
- Válec s vonkajším priemerom zhodným s vnútorným priemerom šroubovice
- Posuvné meradlo

Proces výroby je pomerne jednoduchý. Je založený na namotaní lakovaného medeného vodiča na valec s priemerom vyhovujúcim vnútornému priemeru antény. V tomto prípade bola použitá tuba s priemerom 5 mm. Po namotaní je vhodné použiť väčší počet závitov. Ich počet sa bude pri meraní a optimalizácii reálnych výsledkov redukovať. Zo simulácií je možné odvodiť fakt, že anténa má výhodné parametre za použitia čo najmenšieho odstupu. Za predpokladu využitia polakovaného vodiča, je možné závitov umiestniť v minimálnej vzdialenosti, bez toho aby došlo k skratu.



Obrázok 4.12: Závitová časť antény

Takto namotaná anténa bola napojená na pin SMA konektor.



Obrázok 4.13: *Spájkovaná závitová časť do pinu konektora*

Pin následne vložíme do dielektrika z teflónu. Vo finálnom stave antény je vhodné teflón prilepiť ku kostre konektora pre lepšiu stabilitu.

Dizajn antény pred meraním je na nasledujúcom obrázku:



Obrázok 4.14: *Anténa s väčším počtom závitov pred optimalizáciou a meraním*

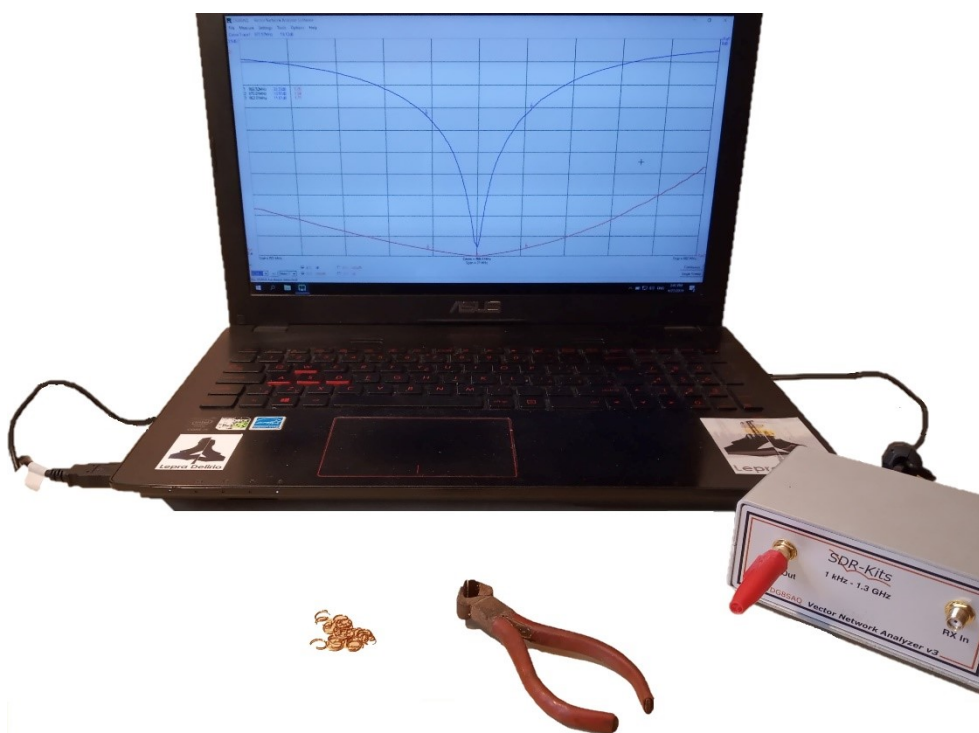
4.6 Meranie S11 parametrov šroubovicovej antény

Táto časť sa zaoberá procesom optimalizácie antény pre reálne namerané výsledky. Výsledné grafy merania budú uvedené v závere kapitoly. Meranie prebiehalo na vektorovom analyzátore SDR-Kits DG8SAQ s rozsahom 1 kHz - 1,3 GHz, ktorý je na obrázku.



Obrázok 4.15: Vektorový analyzátor DG8SAQ

Merací prístroj vyžaduje inštaláciu ovládačov a software VNWA. Po správnom nastavení a kalibrovaní meracieho prístroja bola na jeho výstup aplikovaná anténa s geometrickými vlastnosťami odpovedajúcimi simulácií s najlepšimi parametrami. Anténa dosahovala vhodné rozptylové parametre s určitým posunom na frekvenčnej osi od požadovanej frekvencie. Proces vylad'ovania bol založený na optimalizácii počtu závitov s predpokladom konštantného uhlu stúpania.

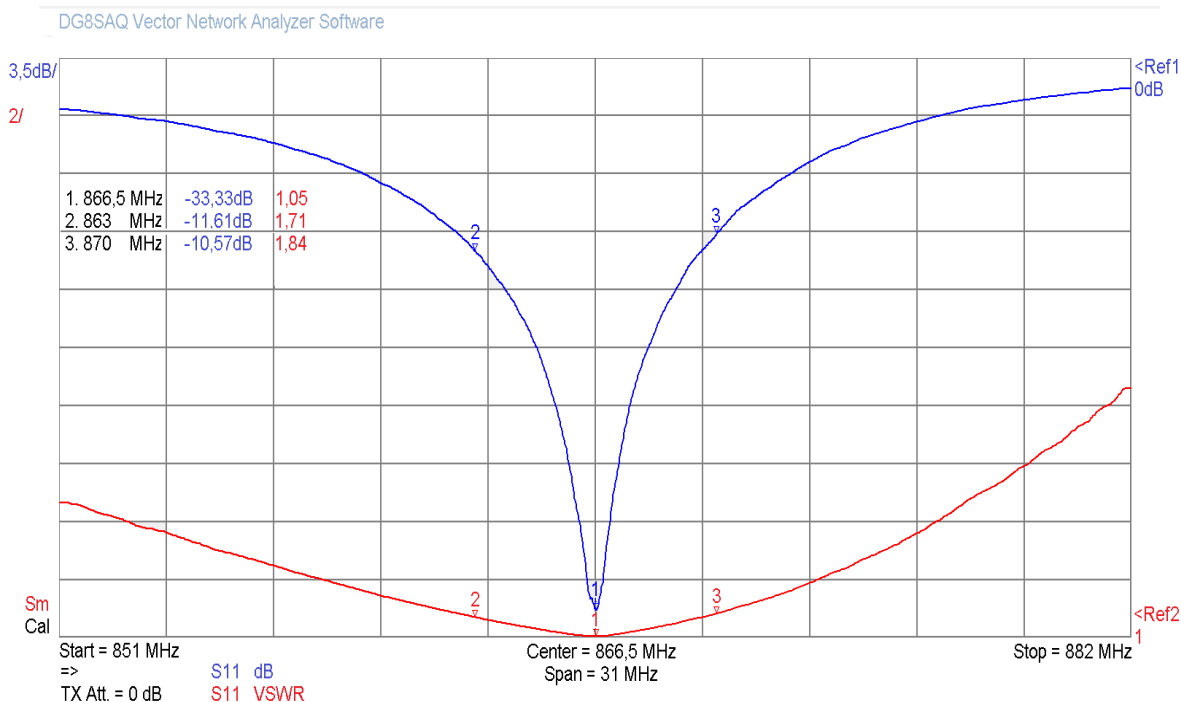


Obrázok 4.16: Proces merania a optimalizácie pomocou skracovania dĺžky antény

Po skrátení na požadovanú dĺžku nadobudla anténa funkčnosť na požadovanom kmitočte. Anténa však vykazovala zmeny po určitom počte meraní. Tento negatívny jav je zapríčinený tlakom pôsobiacim na závit, ktorých odstup sa mierne menil v závislosti na počte meraní. Tomuto javu sa dá zamedziť spevnením antény prvkom, ktorý bude mať na jej vyžarovanie najmenší vplyv. V tomto prípade bolo vhodné použiť plast, ktorý bol zohriaty po upevnení závitov s najmenším odstupom. Po tejto úprave mal počet meraní na výsledky omnoho menší vplyv. Meranie bolo opakované kôli prieskumu stability antény. Finálne hodnoty parametrov na zostrojenie antény na základe výsledkov :

- $D = 6 \text{ mm}$ (vonkajší priemer)
- $S = 0,51 \text{ mm}$
- $D_v = 0,5 \text{ mm}$
- $N = 15,5$

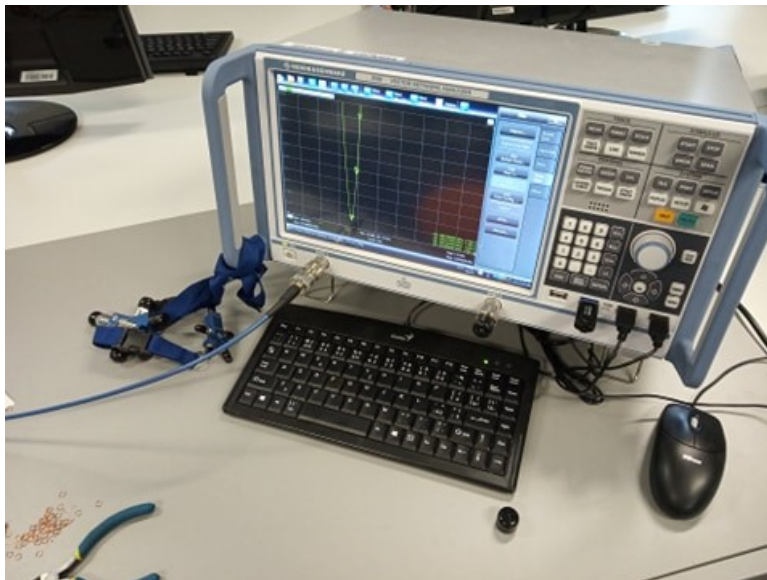
Na nasledujúcom obrázku sú výsledky merania so zvýraznenými hraničnými bodmi pásma. Modrou farbou sú zvýraznené rozptylové parametre. Červená farba je použitá pre vykreslenie VSWR.



Obrázok 4.17: Výstup z merania na vektorovom analyzátoe DG85AQ

4.7 Meranie zisku šroubovicovej antény

Na správne upravenej anténe bol meraný zisk pomocou R&S ZNB vektorového analyzátoru, ktorý je na obrázku:



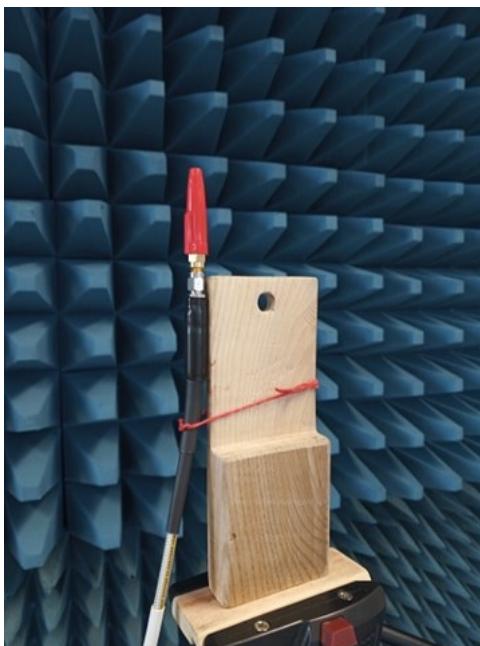
Obrázok 4.18: *R&S ZNB vektorový analyzátor*

Meranie prebiehalo metódou merania zisku oproti referenčnej lievnikovej anténe. Po správnom kalibrovaní prístroja boli lievnikové antény, zapojené do stroja a umiestnené vo vzdialenosti 2,5 metra za pomoci stojanov.



Obrázok 4.19: *Referenčné meranie pomocou lievnikových antén*

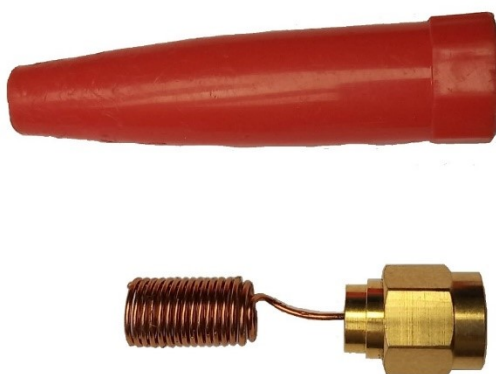
Po nameraní referenčnej hodnoty -30,86 dB, bola na výstup napojená šroubovicová anténa.



Obrázek 4.20: *Meranie zisku šroubovicovej antény*

Meranie zisku antény bolo uskutočnené s použitím krytu a následne bez neho. Nameraná hodnota zisku pre anténu s krytom bola -4,22 dBi a u merania bez krytu -11,41 dBi. Tento rozdiel je zapríčinený rozladením antény od požadovanej frekvencie. Tá bola konštruovaná s predpokladom použitia tohoto krytu

Výsledná podoba antény je na nasledujúcom obrázku:



Obrázek 4.21: *Finálna podoba antény*

4.8 Vyhodnotenie nameraných výsledkov

Graf rozptylových parametrov S_{11} simulácie sa mierne líši od nameraných hodnôt. Tento fakt je spôsobený predovšetkým zmenou odstupe závitov oproti simulovanej hodnote. Obecne je u veľmi malých šroubovicových antén obtiažne konštruovať odstup rádovo v desatinách milimetrov. Výsledná anténa má závit umiestnené v bezprostrednej blízkosti a to pridáva ešte lepšie parametre oproti simuláciám, v ktorých je odstup mierne vyšší. To má za následok zmenšenie počtu závitov vo finálnom návrhu. Nepresnosť v počte závitov oproti simuláciám a výsledkoch merania S_{11} parametrov je zapríčinená aj použitým krytom, ktorého hodnota permitivity nemusí byť zhodná s hodnotou v návrhu. Z výsledného grafu je vidieť že anténa má v centre frekvenčného pásma 863 - 870 MHz hodnotu VSWR 1,05. Na hraniciach frekvenčného pásma má parametre horšie. V tomto fakte sa simulácie s nameranými výsledkami zhodujú. Anténa je však funkčná v celom frekvenčnom rozsahu.

Hodnota nameraného zisku sa priaznivo líši od hodnoty zo simulácie. Simulovanie podobných antén poukazuje na podobné problémy so ziskom. U malých šroubovíc sa odporúča využitie menšieho počtu závitov, vďaka faktu že od určitého počtu sa hodnota zisku nezvyšuje. Mnoho podobných antén využíva optimalizáciu pomocou zväčšenia uhlu stúpania závitov a využitia ich menšieho počtu. Tieto antény majú ale problém dosiahnuť potrebné rozptylové parametre. Cieľom návrhu bolo priblížiť zisk k hodnote 2 dBi. Finálne meranie sa tomuto cieľu približuje. Pre antény podobných rozmerov je zisk -4 dBi dostatočný. Zaujímavým faktom je aj skutočnosť, že pri meraní zisku bola jeho hodnota u použitia antény s krytom výhodnejšia ako pri meraní bez krytu aj keď by mal mať kryt na anténu negatívny vplyv. Anténa bola vyladená práve pre použitie krytu a návrh predpokladá jeho použitie. Toto pozorovanie nám dáva informáciu o správnosti návrhu.

Záver

Hlavným cieľom bakalárskej práce bolo popísať základné vlastností antén. V úvode sú spomenuté najhlavnejšie parametre, ktoré nás zaujímajú pri konštrukcii a následnom meraní. Po uvedení do problematiky nasleduje popis technológie LoraWAN. Z popisu je dôležité hlavne frekvenčné pásmo, ktoré táto technológia používa. Antény, ktoré je možné na strane senzora použiť boli popísané v druhej kapitole. Jednou z podkategórií členenia je drôtová anténa. Do tejto kategórie spadá šroubovicová anténa, ktorej návrhom sme sa zoberali v tretej kapitole práce.

Práca je rozdelená do niekoľkých kapitol. Obsahom úvodnej kapitoly je popis všeobecnej antény so základným rozdelením. Následne sú spomenuté dôležité parametre, ktoré nás zaujímajú pri konštrukcii a následnom meraní.

Ďalej práca obsahuje popis frekvenčného pásma 868 MHz s právami a povinnosťami, ktoré pre toto pásmo ČTU definuje. Špecifiká technológie LoraWAN sú uvedené v rovnakej kapitole. Hlavnou informáciou je práve využitie aj frekvenčného pásma 868 MHz. Súčasťou kapitoly je aj rozbor antén, ktoré je možné použiť na strane senzora. Jednou z podkategórií členenia je drôtová anténa. Do tejto kategórie spadá šroubovicová anténa, ktorej návrh je popísaný v ďalšej kapitole.

Následujúca kapitola je venovaná všeobecnej teórii, návrhu a problematike malých šroubovicových antén. V úvode je zahrnutý popis geometrických vlastností a vyžarovania rôznych typov šroubovicových antén. V tejto časti je popísaný aj parametrický popis s následne odvodenými vzťahmi medzi jednotlivými parametrami. Cieľom práce bol návrh šroubovicovej antény, ktorej priemer je obmedzený veľkosťou priemeru vonkajšej časti SMA konektora.

Simulačná časť obsahuje praktizovanie parametrického popisu antény. Hodnoty pre výpočty parametrov sú odvodené zo vzorcov s použitím predpokladov pre veľkosť priemeru. V tejto časti sú spísané a graficky predvedené vplyvy jednotlivých geometrických parametrov na vyžarovanie a parametre antény. Optimalizácia antény bola praktizovaná pomocou zmeny 3 základných parametrov (α, K, N). Medzi modely s najlepšimi výsledkami simulácií sa zaradili predovšetkým tie, ktorých priemer sa zvyšoval za predpokladu konštantného, veľmi malého odstupu závitov. Doladovanie antény prebiehalo pomocou skracovania počtu závitov.

Konštrukcia výsledného modelu simulácie bola popísaná v záverečnej kapitole. Pri natočení vodiča na valec s určitým priemerom je vhodné ponechať väčší počet závitov. Tento počet sa bude pri meraní antény znižovať, vďaka faktoru vyplývajúceho zo simulovania, že tento parameter posúva funkciu S_{11} v závislosti na frekvencií. Tento fakt podporuje aj teória drôtových antén, ktorá poukazuje na prácu antén na nižších frekvenciách pri ich geometrickom zväčšovaní. Výroba pokračovala pájkovaním vodiča na pin SMA konektora. Dôležitým problémom pri konštrukcii je tlak pôsobiaci na závit a odstup antény od konektora. Simulácie ukázali že najlepšie výsledky dosahuje anténa pri tesnom usporiadaní závitov. Je vhodné po meraní a nájdení požadovaných výsledkov anténu spevniť materiálom, ktorý nebude mať na jej vyžarovanie príliš veľký vplyv. Ďalším problémom je aj rozladenie antény po otrase, alebo miernom dotyku. Tento

problém rieši plastový kryt, ktorý má však na vyžarovanie vplyv. Tento kryt bol súčasťou simulácie, ktorá s vplyvmi počítala.

V ďalšej časti je popísaný proces merania a následná optimalizácia reálnych výsledkov antény. Optimalizácia prebiehala overovaním faktov zo simulácií, ktoré sa reálne potvrdzovali.

Na záver môžeme konštatovať, že na základe vykonaných meraní je anténa funkčná, stabilná a schopná prevádzky na požadovanom pásme s uspokojivými parametrami.

Použitá literatura

- [1] CAPANO, Daniel. Antény, jejich druhy a funkce. Controlengcesko [online]. Diversified Technical Services, 2015 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: [http://www.controlengcesko.com/index.php?id=47&no_cache=1&tx_ttnews\[tt_news\]=5702&cHash=e42d79eeb1&type=98](http://www.controlengcesko.com/index.php?id=47&no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=5702&cHash=e42d79eeb1&type=98)
- [2] BANALIS, Constantine A. [i]Antenna Theory : Analysis and design[/i]. 3rd edition. United States : [s.n.], 2005. 1117 s. ISBN 0-471-66782-X.
- [3] MAZÁNEK, Miloš a Pavel PECHAČ. Šíření elektromagnetických vln a antény: amatérské radio pro konstruktéry. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-010-3032-6.
- [4] DVORSKÝ, Marek. Základy bezdrátových komunikací pro integrovanou výuku VUT a VŠB-TUO[CD-ROM]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2014. ISBN 978-80-248-3557-0.
- [5] 3D radiation pattern. Youtube [online]. 2017 [cit. 2018-12-18]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=zOQu7ZgRTb8>
- [6] Main lobe. Wikipedia[online]. [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Main_lobe
- [7] Všeobecné oprávnění č. VO-R/10/01.2019. Český telekomunikační úřad. Praha 22, 2019.
- [8] LoRa RF Bands. Rfwireless-world [online]. [cit. 2018-12-22]. Dostupné z: <http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/LoRa-frequency-bands.html>
- [9] LIENAU, Johnny. How to Implement Chip Antennas. Lsr [online]. 2008 [cit. 2018-12-18]. Dostupné z: <https://www.lsr.com/white-papers/how-to-implement-chip-antennas>
- [10] Chip Antenna,. Farnell [online]. [cit. 2018-12-18]. Dostupné z: <https://sk.farnell.com/johanson-technology/0868at43a0020e/antenna-ceramic-868mhz/dp/1885493>
- [11] Types of IoT Antennas. Techplayon [online]. 2017 [cit. 2018-12-18]. Dostupné z: <http://www.techplayon.com/types-iot-antennas-choose-get/>
- [12] Whip antenna. Ebay [online]. [cit.2018-12-18]. Dostupné z: <https://www.ebay.com/itm/1pc-915MHz-Antenna-915-MHz-Whip-antenna-Omni-directional-Connector-SMA-Male-3dbi-/262681558046>
- [13] Whip antenna. Pro-sound [online]. [cit. 2018-12-18]. Dostupné z: <https://www.pro-sound.com/p/comtek-lw-216-14-wave-rigid-whip-antenna.html>

-
- [14] 3G LTE(4G) GPRS GSM CDMA PCB Antenna. Indiamart [online]. [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/3g-lte-4g-gprs-gsm-cdma-pcb-antenna-18725688448.html>
- [15] Helical Antenna. Lowpowerlab [online]. [cit. 2018-12-18]. Dostupné z: <https://lowpowerlab.com/shop/product/160>
- [16] Helix antenna design. Jcoppens [online]. [cit. 2018-12-21]. Dostupné z: <http://jcoppens.com/ant/helix/calc.en.php>
- [17] Konstrukční elektronika A Radio: amatérské radio pro konstruktéry. Praha: Amaro, 2011. ISBN 1211-3557.
- [18] KUMAR, Girish. Helical Antennas. Bombay: Electrical Engineering Department.
- [19] MAZÁNEK, M a M POLÍVKA. Šroubovicové antén. Katedra elektromagnetického pole ČVUT v Praze, 2014.
- [20] SANKAR, Jairam. Antenna Polarisation. Electronicsforu [online]. 2016 [cit. 2018-12-18]. Dostupné z: <https://electronicsforu.com/resources/learn-electronics/antenna-polarisation>
- [21] Constructing Normal-Mode Helical Antennas. ROY, M.N. 1969. India: IEE-IERE Proceedings.
- [22] Technical data sheet: Rosenberger 32S102-272L5 [online]. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <http://www.produktinfo.conrad.com/index.php?bl=CS&q=792964>

Zoznam príloh:

Príloha č. 1: *Model šroubovicovej antény*

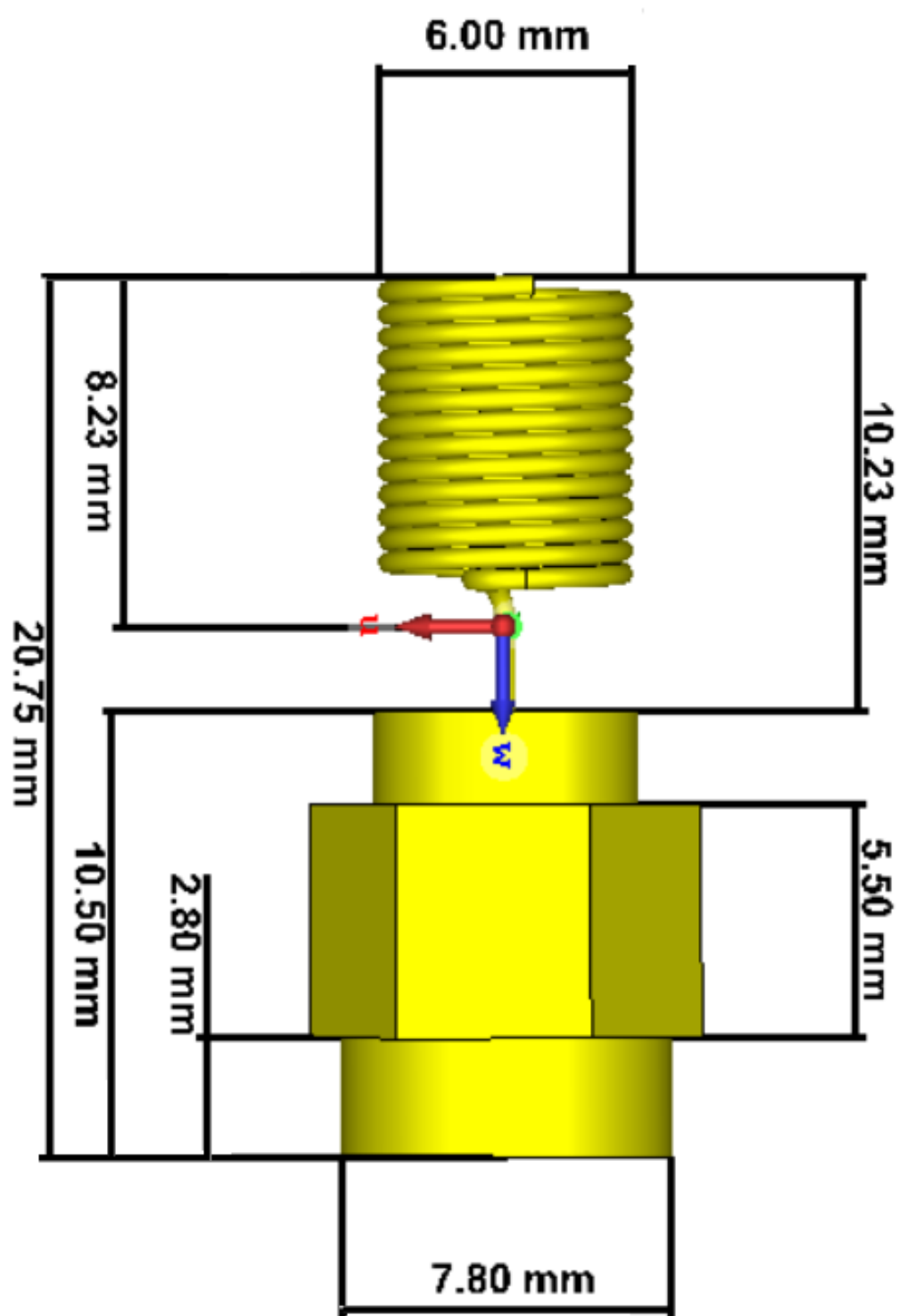
Príloha č.2: *Graf nameraných rozptylových parametrov S_{11}*

Súčasťou bakalárskej práce je USB

Obsah priloženého USB:

1. "USB":\priloha1\simulacia.zip

Príloha č. 1: *Model šroubovicovej antény*



Príloha č.2: Graf rozptylových nameraných parametrov S11

